



12/94 Laitosmies meni energialaitoksella tarkistamaan täytettävän säiliön öljypinnan korkeutta avaamalla miesluukun. Samalla tapahtui räjähdys, jonka seurauksena laitosmies putosi 12 m alempana olevalle tasolle menettäen henkensä

työpaikkaonnettomuuksien tutkinta (TOT)

Raportti perustuu teknillisen tarkastuskeskuksen räjähdystä koskevaan tutkimusraporttiin

TIIVISTELMÄ

Kaupungin energialaitoksen lämpökeskuksen maan alle louhittuun tilaan sijoitetussa raskasöljysäiliössä sattui räjähdys. Säiliötilassa oli kaksi n. 5.000 m³ raskasöljysäiliötä ja yksi 150 m³ kevyt polttoöljysäiliö. Toista raskasöljysäiliötä oltiin puhdistamassa säiliön kunnon tarkastusta varten siten, että öljyä ja pohjalle kertynyttä sakkaa siirrettiin viereiseen säiliöön. Laitosmies meni täytettävän säiliön katolle katsomaan miesluukusta säiliön pinnankorkeutta. Samassa tapahtui räjähdys ja tulipalo, jonka seurauksena laitosmies putosi säiliön päältä 12 m alempana olevalle tasolle loukkaantuen niin vaikeasti, että kuoli myöhemmin saamiinsa vammoihin. Räjähdyksessä vaurioitui kaksi varastosäiliötä ja maan alle louhitun säiliötilan katto- ja seinärakenteita.

Räjähdysten (humahduksen) syynä oli metaanikaasun muodostuminen bakteeritoiminnan seurauksena. Muodostunut kaasu nousi ylöspäin ja kertyi säiliön kaasutilaan. Räjähdysvaarallisen metaaniseoksen kertymistä säiliön kaasutilaan edesauttoi metaanipitoisen öljyvesi-ilmaseoksen pumppaus ja kierrätys vapaalla pudotuksella säiliön kaasutilaan. Räjähdysvaarallinen seos on muodostunut miesluukun suuaukolle silloin, kun laitosmies on avannut miesluukun, jolloin lämmin, metaania sisältävä kaasuseos on levinnyt luukusta ulospäin ja laimentunut räjähdyskelpoiseksi.

Seoksen syttymisen syytä ei ole voitu täysin todistettavasti selvittää. Tutkijaryhmä pitää mahdollisena syttymislähteenä öljyn kierrätyksessä muodostuneen staattisen varauksen purkautumista öljyn pinnankorkeutta katsomaan menneen laitosmiehen käteen, jolloin siinä muodostunut kipinä on sytyttänyt seoksen. Toisena mahdollisena syttymislähteenä pidetään henkilön varautumisesta aiheutuvaa kipinää.

1. Tapahtumien kulku

1.1 Toiminta ennen onnettomuutta

Lämpökeskus on yksi energialaitoksen vesikaukolämmityksen pääverkkoa syöttävistä huippulämpökeskuksista. Lämpökeskuksessa on kaksi 5.000 m³ öljysäiliötä maan sisään louhitussa katetussa tilassa (pirros 1). Säiliöiden pohjalla olevilla vesikiertoisilla lämmityskierukoilla öljyn lämpötila pidetään 44–45°C:ssa. Lisäksi säiliöstä lähtevän öljyn lämmittämiseksi on säiliössä imukuumennin, jossa viskositeetti saadaan pumppaukselle ja suodatukselle edulliseksi. Aikaa myöten lämmityskierukoiden teho on laskenut, koska niiden ympärille on kertynyt lämmönsiirtoa estävää paksua öljysakkaa.

Säiliössä 1 oli vähärikkistä öljyä, johon ympäristösyistä ollaan siirtymässä. Säiliössä 2 oli runsasrikkisempää öljyä useita vuosia, koska sitä ei ollut käytetty ympäristöviranomaisten antamaan määräaikaan 1.11.1992 mennessä. Tämä öljy haluttiin siirtää säiliöön 1 ja samalla laimentaa sitä sallittuun rikkipitoisuuteen.

Näistä syistä säiliö 2 päätettiin tyhjentää, tarkastaa samalla sen kunto, muuttaa säiliön täytöputki voimassa olevien määräysten mukaiseksi ulottumaan pohjan lähelle sekä tarvittaessa korjata lämmityskierukat.

Viimeiset kaksi viikkoa öljyn ”liuottamiseen” oli käytetty kuumaa (80-90°C) kaukolämpövedtä samalla kun sakkaa kaavittiin säiliön vaipasta ja pohjalta tyhjennyskaivoon pumppausta varten. Loppupumppauksen yhteydessä myös ilmaa pääsi täytettävään säiliöön.

Tapahtumapäivänä säiliössä 1 oli päällä öljyn kierrätys imukuumennin kautta säiliön yläosaan ja öljyn lämpötila oli 44 - 45°C.

1.2 Tapahtumat onnettomuuspäivänä

Säiliön 2 pohjasakkaa siirrettiin kuumalla vedellä liettäen säiliöön 1. Säiliön pinnankorkeusmittareiden lisäksi haluttiin varmistaa, ettei säiliössä 1 pääse tapahtumaan ylitäyttöä, joten laitosmies meni ylös hoitotasolle (klo 8.50) katsoakseen pinnankorkeuden säiliön katolla olevasta miesluukusta. Samaan aikaan piirimestari K.K meni portaita alaspäin ja kuuli ukosen kaltaista jyrinää säiliöstä 1 ja sen jälkeen räjähtävän äänen. Hän kiirehti alhaalla olevasta hätäpoistumisluukusta pois säiliötilasta, koska pelkäsi säiliön revenneen ja vallitilan täyttyvän öljyllä. Näin ei kuitenkaan tapahtunut, vaan tilaan muodostui savua.

Ilmeisesti laitosmiehen avatessa miesluukua tapahtui säiliön 1 kaasutilan syttyminen. Pinnankorkeutta katsomaan mennyt laitosmies putosi paineen vaikutuksesta säiliön 1 katolta n. 12 m alemmalle tasolle ja loukkaantui vaikeasti. Palolaitoksen savusukeltajat noutivat loukkaantuneen, joka vietiin kriittisessä tilassa sairaalaan, jossa hän menehtyi saamiinsa vammoihin. Muita henkilövahinkoja ei tapahtunut.

Sen jälkeen laukaistiin hiilidioksidisammutusjärjestelmä (säiliön sisällä), jolla tulipalon alku sammutettiin.

Räjähdysten vaikutuksesta säiliön 1 kansi repeytyi reunaltaan (n. 9,5 m pitkä ja 0,6 m leveä repeämä) ja paine vaurioitti säiliön 2 korjauskelvottomaksi. Katon päällä oleva maa oli noussut räjähdyspaineen vaikutuksesta paikoitellen ylös ja katolla olleista säiliöiden tuuletusputkista toinen oli lentänyt irti kiinnikkeistään. Betonikattoon tuli murtumia, betoniseinän pullistui ulospäin ja betoniseinän tuuletusluukut sinkoutuivat pois paikoiltaan.

2. Teknillisen tarkastuskeskuksen tutkimukset

2.1 Räjähdyksellisen seoksen syntyminen

Säiliön 2 öljy oli peräisin kalliovarastosta ja sitä oli pidetty säiliössä useita vuosia. Sitä ei ollut käytetty ympäristöviranomaisten antamaan määräaikaan 1.11.1992 mennessä, vaan sitä oli vielä jäljellä n. 1.900 m³. Tämän jälkeen sen käyttö runsaan rikkipitoisuuden vuoksi ei enää ollut mahdollista. Tätä öljyä oli siirretty säiliöön 1, jossa oli ennestään erittäin vähän rikkiä sisältävää öljyä. Näin vanhan öljyn rikkipitoisuus saatiin laimennettua sallittuun rajaan.

Raskasöljy sisältää vaikeasti haihtuvia komponentteja ja palaa sen vuoksi huomattavasti hitaammin kuin kevyt polttoöljy. Räjähdyksellisen seoksen muodostuminen polttoöljystä säiliön ilmatilaan on epätodennäköistä. Raskasöljyt eivät myöskään syty kovin herkästi.

Tutkimusta varten otettiin öljynäytteet:

- 1) säiliön 1 pinnalta miesluukusta
- 2) säiliön 1 pohjalta vesitysyhteestä vesiöljyseosnäyte
- 3) säiliön pohjalta vesitysyhteestä vesinäyte.

Näytteistä 1 määritettiin leimahduspiste, joka oli yli 150°C.

Tutkimusryhmän ja lämpökeskuksen työntekijöiden välisissä keskusteluissa kävi ilmi, että kakkossäiliön öljyä kierrätettäessä marraskuussa 1992 oli putkistossa todettu esiintyvän ”ilmavaivoja”. Kierrätysputken korkeimmasta kohdasta otettu kaasunäyte tutkittiin 3.11.1992 ja siinä todettiin olevan 16,1 % hiilidioksidia ja 58,5 % metaania.

Näytteessä 2 määritettiin vapautuva vety ja metaani staattisella headspace-tekniikalla 40°C:ssa kaasukromatografisesti. Näytteestä vapautui ko. olosuhteissa metaania kaasufaasiin 2,1 til-%. Vetyä ei kaasufaasissa todettu.

Säiliön pohjalle kertyneen vesikerroksen (näyte 3) hapetuspelkistyspotentiaali (redox) mitattiin paikalla kannettavalla mV-mittarilla, joka oli varustettu platina-redox-elektrodilla. Redox-potentiaali oli -160 mV (T=42°C), jota tulosta on pidettävä lähinnä suuntaa antavana, koska vesikerroksessa oli öljyä, joka häiritsee elektrodin toimintaa.

Metaanin muodostumista öljyn kalliovarastoissa on tutkittu ja todettu mm., että kun säiliötä täytettiin öljyllä, vesipatja meni hapettomaksi ja hapetuspelkistyspotentiaali (redox) aleni sille tasolle (alle -400 mV), joka käynnistää metaanibakteerien kasvun. Metaanibakteerit eivät siedä happea eivätkä hajota öljyä. Niiden käyttämä raaka-aine on lyhytketjuiset rasvahapot. Näistä ne tuottavat metaania ja hiilidioksidia yleensä tilavuussuhteessa 2:1 tai 3:1. Näistä

hiilidioksidi liukenee kalliosäiliöiden vesipatjaan. Metaani nousee ylös vedestä ja liukenee öljyyn suureen pitoisuuteen, koska hydrostaattista painetta on. Kun öljy pumpataan ylös ulkoilman paineeseen liuennot metaani kuohuu ylös paineella.

Säiliössä 2 ollut öljy oli peräisin kalliovarastosta ja seissyt pitkään (osittain jopa v. 1987 lähtien) säiliössä. Vaikka säiliön pohjalla ei ole sellaista vesipatjaa kuin kalliovarastoissa, kertyy säiliön pohjalle aikaa myöten vettä, joka poistetaan aika ajoin. Myös hapetuspelkistyspotentiaalimittaukset antavat suuntaviivoja siihen, että olosuhteet bakteeritoiminnalle ovat olleet mahdolliset.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että öljysäiliössä on tapahtunut metaanibakteeritoimintaa, joka on aiheuttanut metaanikaasun muodostumista. Muodostunut kaasu nousi ylöspäin ja kertyi säiliön kaasutilaan. Räjähdyksellisen metaaniseoksen kertymistä säiliön kaasutilaan edesauttoi metaanipitoisen öljy-vesi-ilmaseoksen pumppaus ja kierrätys vapaalla pudotuksella säiliön kaasutilaan (kierrätys- ja täyttöputki ei ulottunut pinnan alle).

Metaanin syttymisrajat ovat 5-15 til-%. Syttymiskelpoinen seos on muodostunut säiliön kaasutilaan, kun ilmaa on joutunut säiliöön öljysakan pumppauksen yhteydessä ja kun miesluukku avattiin. Metaanin minimisyttymisenergia on 0,28 mJ.

2.2 Sytytyslähteen selvittäminen

Tapahtumakuvauksista ja säiliön 1 vaurioista voidaan päätellä, että räjähdys (humahdus) on sattunut säiliön sisällä. Laitosmiehen saamat palovammat ja säiliön vauriot osoittavat, että syttyminen on tapahtunut miesluukulla ja palorintama on edennyt luukulta säiliön vastakkaiseen reunaan, johon tuli repeämä ja säiliön kansi nousi osuen varastotilan kattoon. Räjähdyksellisen seoksen on voinut muodostua miesluukun suuaukolle silloin, kun laitosmies on avannut miesluukun, jolloin lämmintä, metaania sisältävää kaasuseosta on levinnyt luukusta ulospäin ja laimentunut räjähdyskelpoiseksi.

Säiliöiden maadoitus tarkastettiin ja sen todettiin olevan kunnossa.

Keskusteluissa energialaitoksen työntekijöiden kanssa tutkijat totesivat, että säiliön pinnan korkeutta katsomaan menneellä laitosmiehellä ei ollut minkäänlaista lampua mukanaan. Laitoksella käytössä olleista käsivalaisimista ei yksikään ole kadoksissa. Säiliötilassa olleet säiliöön 1 suunnatut kohdevalaisimet olivat epäkunnossa jo ennen onnettomuutta eivätkä olleet siis käytössä, yleisvalaisimet olivat käytössä ja ehjiä myös onnettomuuden jälkeen. Tällaisessa valaistuksessa miesluukusta katsottaessa säiliön pintaa ei ollut mahdollista nähdä.

Miesluukun kansi avataan usein reippaalla liikkeellä, joten luukun kannen tai lukituslaitteen osuessa säiliön kanteen saattaisi jossakin tapauksessa syntyä kipinä. Luukun kannen ja kauluksen välissä on tiiviste. Miesluukun kansi on alumiinia, jota pidetään kipinöimättömänä. Säiliön kannessa ei ollut ruostetta eikä jälkiä mahdollisesta kipinästä. Miesluukku ei ole vaurioitunut onnettomuudessa.

Säiliötilasta hätäpoistumisluukun läheltä letkujen alta on löytynyt tupakansyöttimen metallinen osa (liekinsuoja). Muita osia ei ole löydetty. Lienee mahdollista, että syöttimen muoviset osat ovat palaneet. Räjähdyshetkeä vastaavissa valaistusolosuhteissa ei ole mahdollista nähdä miesluukusta öljyn pintaa ilman lisävaloa. Polttoöljystä ei yleensä haihdu säiliön ilmatilaan syttymiskelpoisia määriä hiilivetyhöyryjä ja metaanin aiheuttaman vaaran merkitystä täytettävässä polttoöljysäiliössä ei tiedostettu. Mitään näyttöä ei kuitenkaan ole siitä, että kyseisellä laitosmiehellä olisi ollut tupakansyöttimen mukanaan. Toisaalta tupakansyöttimen osa on voinut olla säiliötilassa jo ennen onnettomuutta.

Raskailla öljytuotteilla kuten bitumilla tapahtuu säiliön pinnanvaihteluiden seurauksena karstoitumista säiliön sisäpintoihin. Karstakerroksessa tapahtuu syttymislämpötilan laskeminen. Jos säiliöön pääsee ilmaa, öljyinen karsta rupeaa hehkumaan ja muodostaa sytytyslähteen kaasutilaan. Öljyisen karstan muodostuminen on mahdollista myös tässä tapauksessa, mutta karstanhehkumiseen 40–50°C:n lämpötila lienee liian alhainen.

Laitosmiehen varautumisen mahdollisuutta selvitettiin. Hänellä oli päällään puuvillaa olevat haalarit ja alushousut, paita oli Banlonia (kauppanimi synteettiselle polyamidi- tai polyesterikuidulle, joka on kiharrettu), ja ilmeisesti keinokuitua olevat sukat. Jalassaan hänellä oli turvakengät, joissa on antistaattinen pohja. Jalkineet voivat muuttua eristäväksi, jos pohjaan kertyy eristävää likaa. Käsineiden käytöstä ei ole saatu varmaa tietoa. Vaarallinen jännite saavutetaan hyvin helposti kuivalla ilmalla jopa puuvillavaatteita käytettäessä. Kyseisenä päivänä ilman suhteellinen kosteus on ollut melko alhainen (51 % ja 46 % klo 9.00). Varauksen purkautuminen tapahtuu maadoitettuun kohtaan koskettamalla esim. tässä tapauksessa portaiden kaiteeseen. Säiliön katolla kulkeminen on kuitenkin mahdollista kaiteeseen koskettamatta, jolloin varaus on voinut purkautua miesluukun avauksen yhteydessä.

Tapahtumapäivänä säiliössä 1 oli öljyn kierrätys imukuumenimen kautta päällä siten, että kierrätetty öljy palautettiin takaisin säiliöön yläkautta kaasutilaan. Säiliöstä 2 siirretty öljy-vesiseos johdettiin myös yläkautta tähän samaan yhteeseen. Veden ja ilman sekoittuminen nesteeseen on voinut aiheuttaa varauksen lisääntymistä öljy-vesiseoksen virratessa putkistossa ja se, että kierrätysputki ei ole ulottunut

nestepinnan alle. Koska öljyä kierrätettiin koko ajan, varaus ei ole ehtinyt purkautua säiliön seiniin. On myös mahdollista, että laitosmies on yrittänyt koettaa esim. kädellään, kuinka lähellä kattoa öljyn pinta on, koska hän ei ole voinut nähdä säiliön pintaa ilman valaisinta. Tällaisessa tilanteessa varaus on purkautunut laitosmiehen käteen ja syntynyt kipinä on aiheuttanut syttymisen.

3. Ehdotuksia vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi

3.1 Toimenpiteet energialaitoksella

Energialaitoksen osalta teknillinen tarkastuskeskus (TTK) on jo edellyttänyt, että se selvittää vastaavanlaisten onnettomuuksien ehkäisemiseksi viipymättä kaikista yli 1.000 m³ säiliöistään ja kalliosäiliöistään, muodostuuko säiliöihin metaania. TTK on edellyttänyt, että energialaitos antaa viipymättä ohjeet varotoimenpiteistä huolto- ja kunnossapitohenkilöstölle siltä varalta, että säiliöihin on muodostunut metaania. Energialaitokselta on edellytetty suunnitelman laatimista siitä, mihin toimenpiteisiin se aikoo ryhtyä vaaran estämiseksi.

Energialaitoksen tulee turvallisuusohjeissa korostaa sitä, että pinnankorkeuden mittausta tai näytteenottoa miesluukusta ei saa tehdä ennen kuin lämmityskierrätys on pysäytetty ja riittävä odotusaika mahdollisen staattisen varauksen tasaantumiseksi on kulunut kierrätyksen pysäyttämiseksi.

Energialaitoksen tulee korjata kaikissa öljysäiliöissään kierrätys- ja täyttöputket ulottumaan nestepinnan alapuolelle.

Tutkimuksen yhteydessä todettiin, ettei asiattomien pääsyä ko. lämpölaitoksen alueelle ole estetty riittävän tehokkaasti. Tutkijaryhmä ehdottaa, että varastosäiliötilan käsittävä alue ulkona aidataan vähintään 2,4 m korkealla lujalla metalliverkkoaidalla siihen mennessä kun varasto otetaan uudelleen käyttöön.

3.2 Yleiset suositukset

Öljysäiliöissä, joissa öljyä on varastoitu epätavallisen kauan käyttämättä sitä, tulee mittauksin varmistaa, ettei säiliöön ole päässyt muodostumaan metaania. Säiliön ilmaputkesta voidaan mitata räjähdysvaarallisten kaasujen pitoisuutta ja pohjalle kertyneen veden hapetuspelkistyspotentiaali voidaan mitata. Mittauksia tulee tehdä aina ennen kuin säiliöön kohdistetaan toimenpiteitä.

Mikäli mittauksissa todetaan räjähdysvaarallisia kaasuja, tulee

- 1) selvittää keinoja metaanin muodostumisen estämiseksi,
- 2) huolehtia säiliön kaasutilan tuuleuksesta ja tarvittaessa inertoinnista räjähdysvaarallisen seoksen muodostumisen estämiseksi ja